"패러다임은 시험 받지 않는다"

쿤의 정상과학

2014년 10월 10일 정동욱

복습 : 반증주의자의 자세

- 과학의 논리는 증명이나 입증이 아니라 반증
- 과학의 진보는 끝없는 추측과 반증의 반복
- 과학의 정수는 무제한적인 비판정신
- 이론을 최대한 엄격하게 시험하고,
  시험에 통과하지 못한 이론은 사정없이 폐기
- 가장 경계해야 할 태도 : 독단주의
- 반증가능성의 규범은 따를 만한가?

토머스 쿤(1922-1996)

대표작 《과학혁명의 구조》 (1962)

“칼 포퍼 경은 이따금 일어날 뿐인 혁명적 시기에만 적용될 것을 가지고 전체 과학 활동을 특징지었다고 볼 수 있다. … [그러나] 과학 활동을 주의깊게 관찰해보면 과학을 다른 활동과 가장 잘 구분시켜 주는 것은 비통상적 과학이라기보다는 칼 포퍼 경이 말하는 종류의 시험은 발생하지도 않는 정상과학이라는 점이다. 만약에 구획 기준이 존재한다면(반드시 뚜렷하고도 결정적인 기준을 찾아야 할 필요는 없다고 나는 생각하지만), 그것은 칼 포퍼 경이 무시하고 있는 바로 그 부분에 놓여 있을 것이다.”

- 쿤, 〈발견의 논리인가 탐구의 심리학인가〉, 18-19쪽.

쿤의 포퍼 비판

- 첫째, 기본 공약(근본 이론/가설)은 드물게 일어나는 과학 혁명 시기에만 포퍼식 시험을 받으며, 대부분의 과학활동은 ‘패러다임’에 속한 채 이루어지는 보수적인 ‘정상과학’이다.
- 둘째, 포퍼가 강조하는 근본적인 과학 이론의 교체, 즉 과학혁명은 포퍼식 시험 없이도(전에도) 일어날 수 있다.

패러다임(paradigm)

- 원래는 문법에서 ‘어형변화표’의 의미
- 이후 연구의 모범이나 귀감이 되는 과학적 성취, 즉 ‘범례’
- 본받는 과정에서 스타일이나 전통, 즉 정상과학이 생겨남

동사의 변화

현재	과거	과거분사
walk	walked	walked
learn	learned	learned
look		
study	studied	studied
play		
like	liked	liked
hope		
come	came	come
become		

현재	과거	과거분사
begin	began	begun
drink		
rise	rose	risen
write	wrote	written
drive		
cut	cut	cut
put	put	put
hit		

인수분해

$$\underbrace{a^2-b^2}_{\text{제곱의 차}}=\underbrace{(a+b)}_{\text{합}}\underbrace{(a-b)}_{\text{차}}$$

$$\frac{a^2}{9}=\frac{a^2}{3^2}=\left(\frac{a}{3}\right)^2$$

예 ① x^2-4

$=x^2-2^2$

$=(x+2)(x-2)$

② $4x^2-25y^2$

$=(2x)^2-(5y)^2$

$=(2x+5y)(2x-5y)$

③ $\frac{a^2}{9}-4b^2$

$=\left(\frac{a}{3}\right)^2-(2b)^2$

$=\left(\frac{a}{3}+2b\right)\left(\frac{a}{3}-2b\right)$

$$16x^4-\frac{9}{x^4}=?$$

정상과학

특정한 패러다임에 기반한 연구 활동

사례 1 : 프톨레마이오스 천문학

- 지구는 우주의 중심
- 모든 천체는 천구에 박힌 채 영원히 등속 원운동
- 불규칙해 보이는 행성의 운동은 여러 원운동의 합성으로 설명

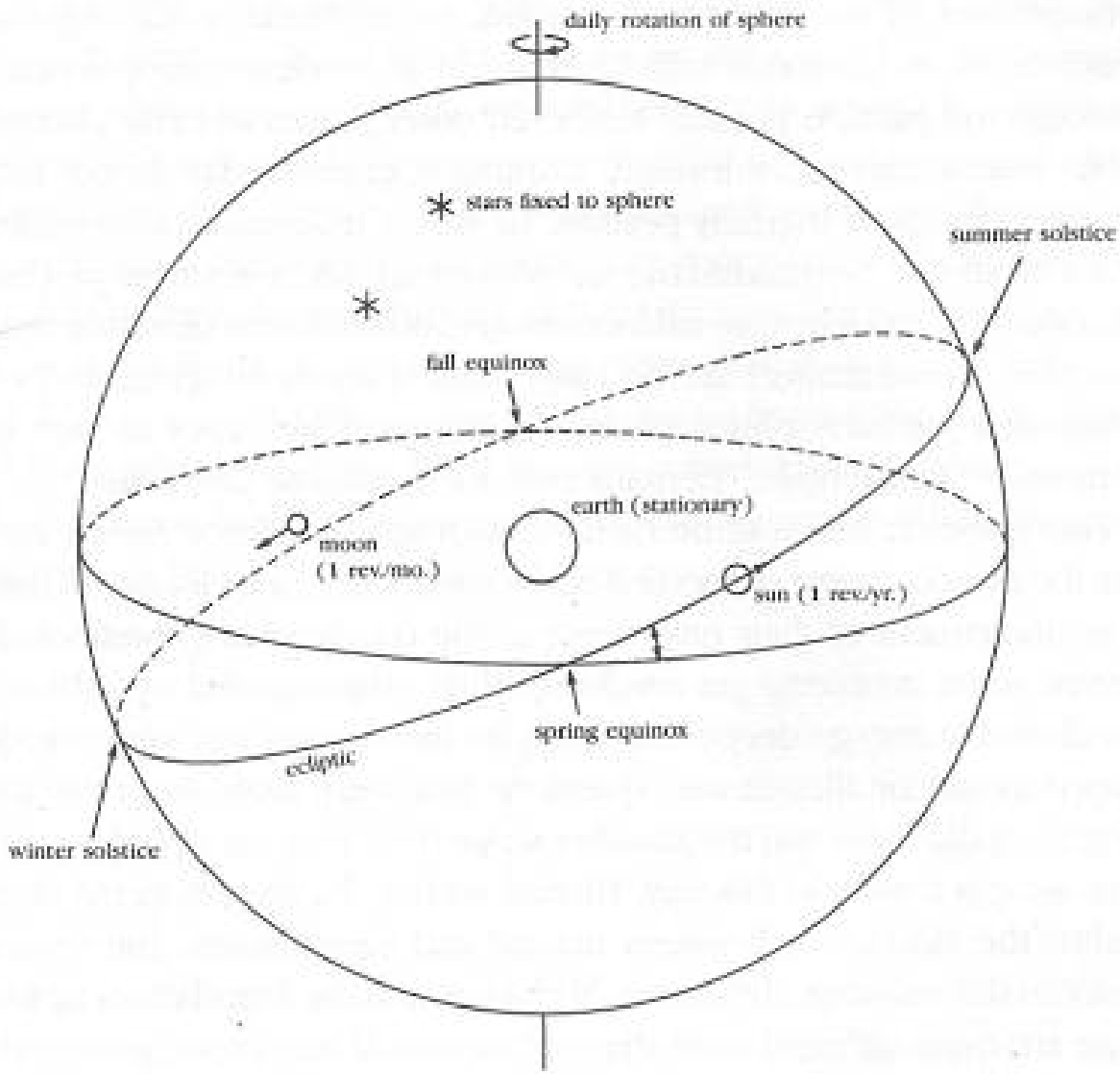
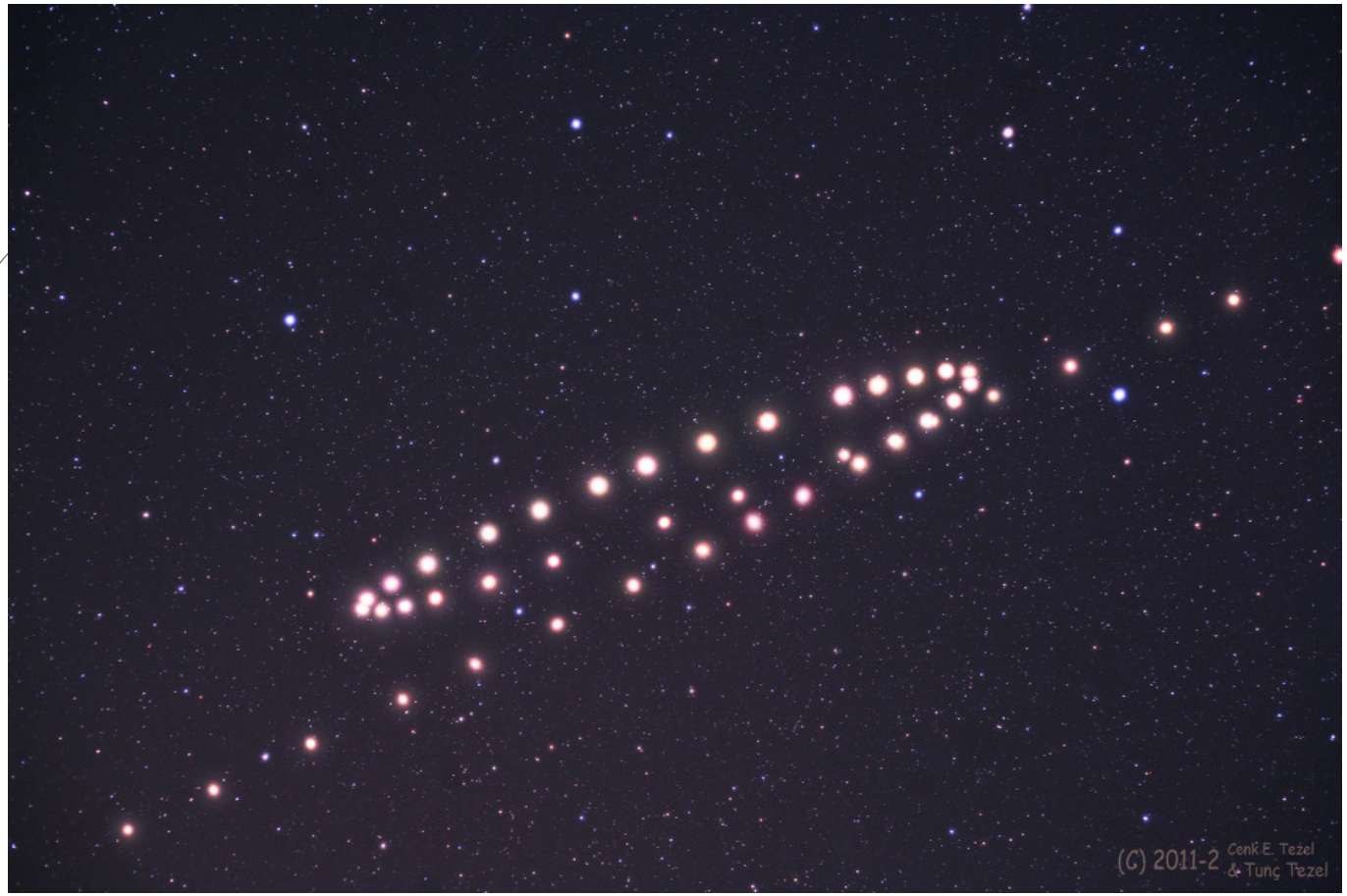
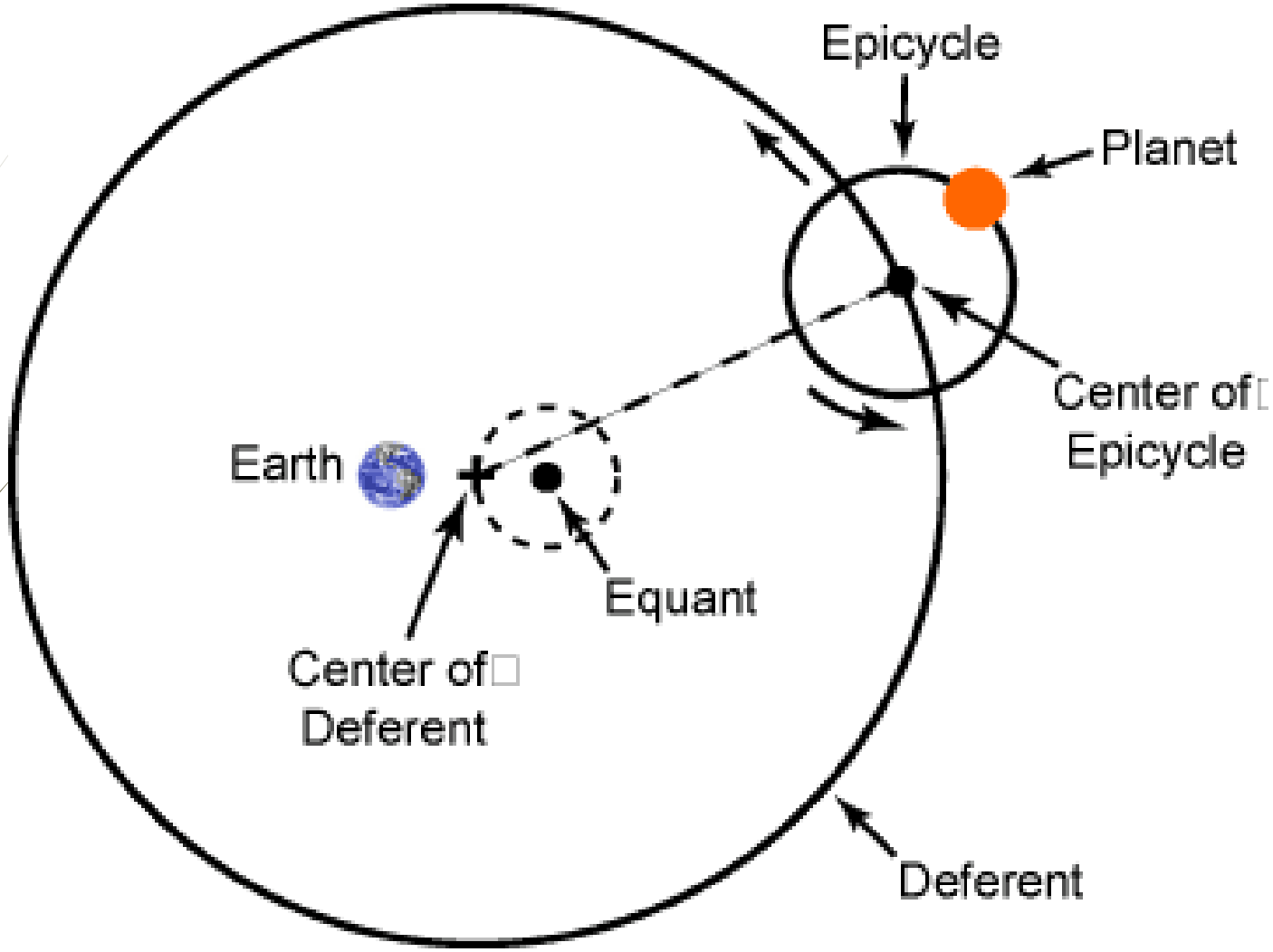


Fig. 2.6. The celestial sphere according to Plato.

해결해야 할 과제 : 행성의 운동





프톨레마이오스 천문학의 여러 수학적 도구들

사례 2 : 원소 주기율표 채우기

표 준 주 기 율 표
Periodic Table of the Elements

표기법:
원자 번호
기호
원소명(국문)
원소명(영문)
표준 원자량

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 **H** 수소 hydrogen [1.007; 1.009]																	18 2 **He** 헬륨 helium 4.003
3 **Li** 리튬 lithium [6.938; 6.997]	4 **Be** 베릴륨 beryllium 9.012											13 5 **B** 붕소 boron [10.80; 10.83]	14 6 **C** 탄소 carbon [12.00; 12.02]	15 7 **N** 질소 nitrogen [14.00; 14.01]	16 8 **O** 산소 oxygen [15.99; 16.00]	17 9 **F** 플루오린 fluorine 19.00	10 **Ne** 네온 neon 20.18
11 **Na** 나트륨 sodium 22.99	12 **Mg** 마그네슘 magnesium 24.31											13 **Al** 알루미늄 aluminium 26.98	14 **Si** 규소 silicon [28.08; 28.09]	15 **P** 인 phosphorus 30.97	16 **S** 황 sulfur [32.05; 32.08]	17 **Cl** 염소 chlorine [35.44; 35.46]	18 **Ar** 아르곤 argon 39.95
19 **K** 칼륨 potassium 39.10	20 **Ca** 칼슘 calcium 40.08	21 **Sc** 스칸듐 scandium 44.96	22 **Ti** 타이타늄 titanium 47.87	23 **V** 바나듐 vanadium 50.94	24 **Cr** 크로뮴 chromium 52.00	25 **Mn** 망가니즈 manganese 54.94	26 **Fe** 철 iron 55.85	27 **Co** 코발트 cobalt 58.93	28 **Ni** 니켈 nickel 58.69	29 **Cu** 구리 copper 63.55	30 **Zn** 아연 zinc 65.38(2)	31 **Ga** 갈륨 gallium 69.72	32 **Ge** 저마늄 germanium 72.63	33 **As** 비소 arsenic 74.92	34 **Se** 셀레늄 selenium 78.96(3)	35 **Br** 브로민 bromine 79.90	36 **Kr** 크립톤 krypton 83.80
37 **Rb** 루비듐 rubidium 85.47	38 **Sr** 스트론튬 strontium 87.62	39 **Y** 이트륨 yttrium 88.91	40 **Zr** 지르코늄 zirconium 91.22	41 **Nb** 나이오븀 niobium 92.91	42 **Mo** 몰리브데넘 molybdenum 95.96(2)	43 **Tc** 테크네튬 technetium	44 **Ru** 루테늄 ruthenium 101.1	45 **Rh** 로듐 rhodium 102.9	46 **Pd** 팔라듐 palladium 106.4	47 **Ag** 은 silver 107.9	48 **Cd** 카드뮴 cadmium 112.4	49 **In** 인듐 indium 114.8	50 **Sn** 주석 tin 118.7	51 **Sb** 안티모니 antimony 121.8	52 **Te** 텔루륨 tellurium 127.6	53 **I** 아이오딘 iodine 126.9	54 **Xe** 제논 xenon 131.3
55 **Cs** 세슘 caesium 132.9	56 **Ba** 바륨 barium 137.3	57-71 란타넘족 lanthanoids	72 **Hf** 하프늄 hafnium 178.5	73 **Ta** 탄탈럼 tantalum 180.9	74 **W** 텅스텐 tungsten 183.8	75 **Re** 레늄 rhenium 186.2	76 **Os** 오스뮴 osmium 190.2	77 **Ir** 이리듐 iridium 192.2	78 **Pt** 백금 platinum 195.1	79 **Au** 금 gold 197.0	80 **Hg** 수은 mercury 200.6	81 **Tl** 탈륨 thallium [204.3; 204.4]	82 **Pb** 납 lead 207.2	83 **Bi** 비스무트 bismuth 209.0	84 **Po** 폴로늄 polonium	85 **At** 아스타틴 astatine	86 **Rn** 라돈 radon
87 **Fr** 프랑슘 francium	88 **Ra** 라듐 radium	89-103 악티늄족 actinoids	104 **Rf** 러더포듐 rutherfordium	105 **Db** 더브늄 dubnium	106 **Sg** 시보귬 seaborgium	107 **Bh** 보륨 bohrium	108 **Hs** 하슘 hassium	109 **Mt** 마이트너륨 meitnerium	110 **Ds** 다름스타튬 darmstadtium	111 **Rg** 렌트게늄 roentgenium	112 **Cn** 코페르니슘 copernicium		114 **Fl** 플레로븀 flerovium		116 **Lv** 리버모륨 livermorium		

57 **La** 란타넘 lanthanum 138.9	58 **Ce** 세륨 cerium 140.1	59 **Pr** 프라세오디뮴 praseodymium 140.9	60 **Nd** 네오디뮴 neodymium 144.2	61 **Pm** 프로메튬 promethium	62 **Sm** 사마륨 samarium 150.4	63 **Eu** 유로퓸 europium 152.0	64 **Gd** 가돌리늄 gadolinium 157.3	65 **Tb** 터븀 terbium 158.9	66 **Dy** 디스프로슘 dysprosium 162.5	67 **Ho** 홀뮴 holmium 164.9	68 **Er** 어븀 erbium 167.3	69 **Tm** 툴륨 thulium 168.9	70 **Yb** 이터븀 ytterbium 173.1	71 **Lu** 루테튬 lutetium 175.0
89 **Ac** 악티늄 actinium	90 **Th** 토륨 thorium 232.0	91 **Pa** 프로탁티늄 protactinium 231.0	92 **U** 우라늄 uranium 238.0	93 **Np** 넵투늄 neptunium	94 **Pu** 플루토늄 plutonium	95 **Am** 아메리슘 americium	96 **Cm** 퀴륨 curium	97 **Bk** 버클륨 berkelium	98 **Cf** 칼리포늄 californium	99 **Es** 아인슈타이늄 einsteinium	100 **Fm** 페르뮴 fermium	101 **Md** 멘델레븀 mendelevium	102 **No** 노벨륨 nobelium	103 **Lr** 로렌슘 lawrencium

참조) 표준 원자량은 2011년 IUPAC에서 결정한 새로운 형식을 따른 것으로 [ ] 안에 표시된 숫자는 2 종류 이상의 안정한 동위원소가 존재하는 경우에 지각 시료에서 발견되는 자연 존재비의 분포를 고려한 표준 원자량의 범위를 나타낸 것임. 자세한 내용은 *Pure Appl. Chem.* 83, 359-396(2011); doi:10.1351/PAC-REP-10-09-14을 참조하기 바람.

© 대한화학회, 2012

멘델레에프의 첫 주기율표(1869)

Mendelejeff's First Periodic Table (March, 1869)

						Ti	50	Zr	90	?	100
						V	51	Nb	94	Ta	182
						Cr	52	Mo	96	W	186
						Mn	55	Rh	104·4	Pt	197·4
						Fe	56	Ru	104·4	Ir	198
					Ni =	Co	59	Pd	106·6	Os	199
H	1					Cu	63·4	Ag	108	Hg	200
		Be	9·4	Mg	24	Zn	65·2	Cd	112		
		B	11	Al	27	?	68	U	116	Au	197?
		C	12	Si	28	?	70	Sn	118		
		N	14	P	31	As	75	Sb	122	Bi	210?
		O	16	S	32	Se	79·4	Te	128?		
		F	19	Cl	35·5	Br	80	I	127		
Li	7	Na	23	K	39	Rb	85·4	Cs	133	Tl	204
				Ca	40	Sr	87·6	Ba	137	Pb	207
				?	45	Ce	92				
				Er?	56	La	94				
				Yt?	60	Di	95				
				In	75·6?	Th	118?				

정상과학의 성격

- 패러다임은 엄청난 과학적 성공인 동시에 불완전한 성공
- 패러다임은 적법한 문제와 문제 풀이의 기준을 제공
- 정상과학은 패러다임의 기약을 현실화하는 '마무리 작업'
- 정상과학의 목적은 패러다임의 시험이 아니라 그 발전과 명료화
- 이러한 정상과학은 "상당히 난해한 문제의 작은 영역에 주의를 집중함으로써, 패러다임은 과학자들로 하여금, 그렇지 않았더라면 상상조차 못했을 자연의 어느 부분을 상세히 깊이 있게 탐구하도록 만든다."

정상과학의 성격

“이런 활동은 패러다임이 제공하는 미리 짜여진 상당히 고정된 상자 속으로 자연을 밀어 넣는 시도처럼 보인다. 새로운 종류의 현상을 끄집어내는 것은 정상과학의 목적에 속하지 않는다. 실제로 그 상자에 들어맞지 않을 현상들은 전혀 보이지 않곤 한다. 과학자들은 새로운 이론의 창안을 목적으로 하지도 않으며, 그들은 보통 다른 과학자들에 의해 창안된 이론에 너그럽지 못하다. 오히려 정상과학적 연구는 패러다임이 이미 제공한 그러한 현상과 이론의 명료화를 지향한다.”

퍼즐풀이로서의 정상과학

퍼즐풀이로서의 정상과학

“정상적인 탐구 문제와 씨름할 때에 과학자는 현행 이론을 게임의 규칙으로 반드시 **전제**해야 한다. 과학자의 목표는 하나의 퍼즐을 푸는 것이며, 현행 이론은 그러한 퍼즐을 정의해주는 동시에 (충분히 탁월한 경우) 그 퍼즐이 해결될 수 있다는 것을 보장하기 위해서 필요하다. 물론 그러한 과업을 실행하는 사람은 자신이 독창적으로 제안한 잠정적인 퍼즐 풀이를 자주 시험해야 한다. 그렇지만 시험 받는 것은 오직 과학자 자신의 개인적인 추측뿐이다. 만약 그것이 시험을 통과하지 못하면, 현행 과학이 비난 받는 것이 아니라 과학자의 능력이 비난을 받을 뿐이다. 요컨대 정상과학에서는 비록 시험이 빈번히 이루어지기는 하지만, 그 시험은 별난 종류에 속한다. 왜냐하면 궁극적인 분석을 통해 볼 때, 시험을 받는 것은 현행 이론이라기보다는 개별 과학자이기 때문이다.”

퍼즐풀이로서의 정상과학

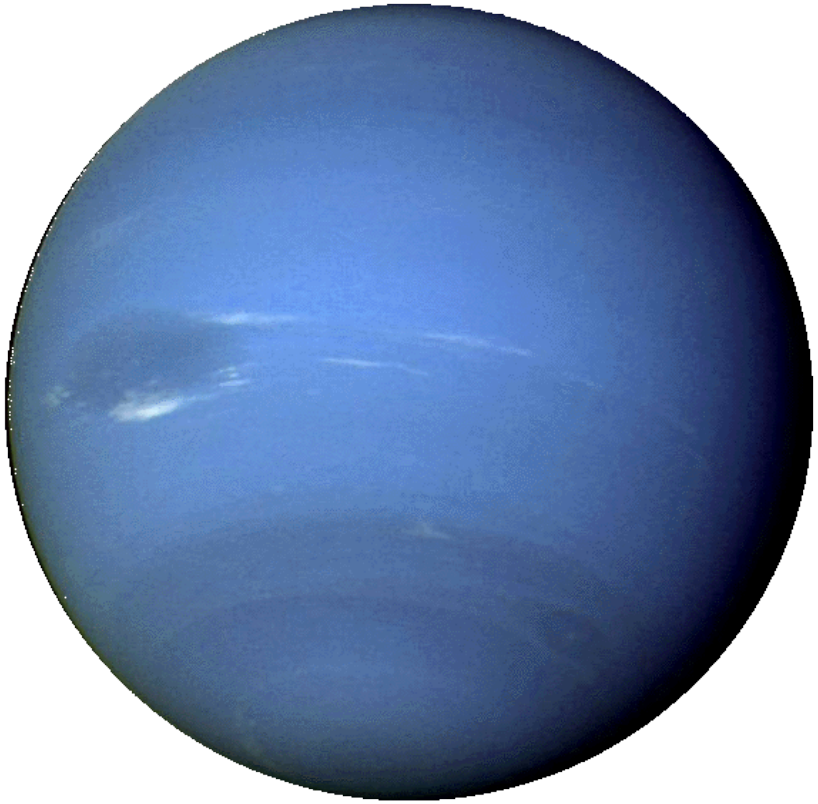
- 퍼즐 = 정상과학자의 능력을 시험하는 문제로서 패러다임에 의해 제공된 해답과 규칙이 있는 문제.
- 퍼즐풀이의 실패 = 정상과학자의 능력 부족
- 즉, 퍼즐은 패러다임을 시험하지 않음!

정상과학은 왜 빨리 발전하는가?

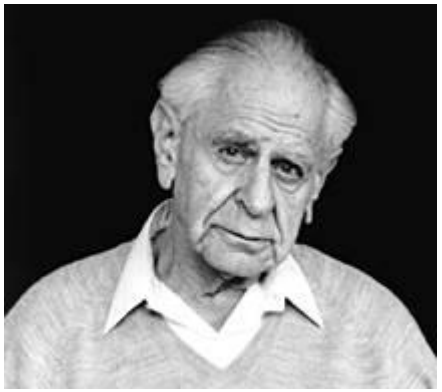
- 해답이 있는 문제에 전념하기 때문
- “[약속들의 공고한 네트워크]는 성숙된 경지의 전문 분야 연구자들에게 세계와 그의 과학이 둘 다 과연 무엇인가를 일러주는 규칙을 제공하는 까닭에, 연구자는 이들 규칙과 더불어 기존의 지식이 정의해주는 난해한 문제들에 확신을 가지고 집중할 수가 있다.”

해왕성 사례와 정상과학

- 퍼즐인가? 반례인가?



포퍼 vs. 쿤



쿤이 이야기하는 <정상과학자>는 독단적인 정신으로 세뇌교육을 받은 불쌍한 사람들이다. 그 사람들의 태도는 과학뿐 아니라 우리 문명 자체에 위협이 된다.

포퍼의 말과는 정반대로 과학은 비판적 논의를 포기함으로써 시작된다.

요약 : 쿤의 정상과학

- 과학의 정수는 비판이 아니라 비판의 포기에 있다.
- 정상과학은 패러다임을 시험하려 하지 않으며, 패러다임을 당연한 것으로 전제하고 그에 의해 정의된 퍼즐들을 풀면서 패러다임을 발전, 명료화하는 것을 목적으로 한다.
- 정상과학은 과학의 진보에서 필수불가결하다.
- 패러다임의 퍼즐과 반례는 엄격하게 구분되지 않는다.
- 그러나 정상과학이 패러다임에 대한 비판을 금지한다면 혁명은 어떻게 가능한가?